

1 / 1 PLUSPAT - ©QUESTEL-ORBIT

**Patent Number :**

DE19508476 A1 19960912 [DE19508476]

**Other Title :**

(A1) Leitsystem für eine Anlage der Grundstoff- oder der verarbeitenden Industrie o. ä.

**Patent Assignee :**

(A1) SIEMENS AG (DE)

**Inventor(s) :**

(A1) SCHULZE HORN HANNES DR ING (DE); ADAMY JUERGEN DR ING (DE)

**Application Details :**

DE19508476 19950309 [1995DE-1008476]

**Priority Details :**

DE19508476 19950309 [1995DE-1008476]

**IPC (issuing Office) :**

(A1) B22D-011/16

**EPO Classification(ECLA) :**

B22D-011/16

**Document Type :**

Basic

**Publication Stage :**

(A1) Doc. Laid open (First publication)

**Abstract :**

Described is a control system for primary-industry or manufacturing-industry facilities, e.g. a smelting plant for the production of steel or non-ferrous-metal strip. The computerized control system is designed to build on previously input knowledge to determine automatically the status of the facility and details of the manufacturing process taking place in the facility, e.g. a continuous strip-casting process, and to give appropriate instructions to ensure successful production.



R2

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



**DEUTSCHES  
PATENTAMT**

**Offenlegungsschrift**  
**DE 195 08 476 A1**

Int. Cl.<sup>8</sup>:  
**B 22 D 11/16**

|    |                  |              |
|----|------------------|--------------|
| 21 | Akt nzeichen:    | 195 08 476.4 |
| 22 | Anmeldetag:      | 9. 3. 95     |
| 43 | Offenlegungstag: | 12. 9. 96    |

**DE 195 08 476 A 1**

Siemens AG, 80333 München, DE

**(72) Erfinder:**  
Schulze Horn, Hannes, Dr.-Ing., 91056 Erlangen, DE;  
Adam, Jürgen, Dr.-Ing., 91338 Igensdorf, DE

**⑤⑥. Entgegenhaltungen:**

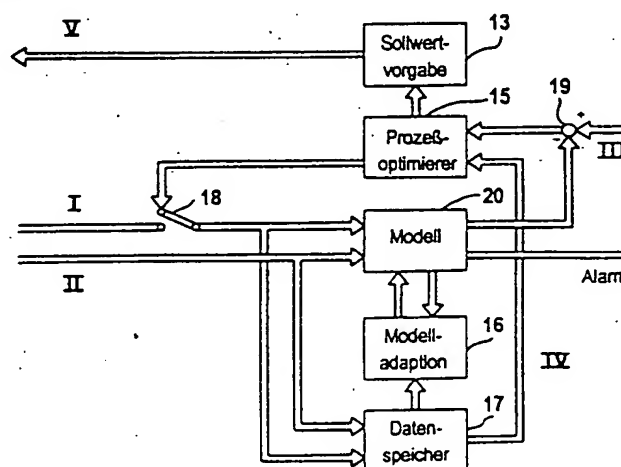
|    |              |
|----|--------------|
| DE | 31 33 222 C2 |
| DE | 42 09 746 A1 |
| DE | 41 25 176 A1 |
| DE | 31 41 560 A1 |
| EP | 04 11 962 A2 |

VDI Berichte 1113, GMA-Ausprachetag Fuzzy Control, VDI Verlag Düsseldorf 1994, S. 89-122.

**Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt**

**(54) Leitsystem für eine Anlage der Grundstoff- oder der verarbeitenden Industrie o. ä.**

57) Leitsystem für eine Anlage der Grundstoff- oder der verarbeitenden Industrie, z. B. für eine hüttentechnische Anlage, etwa zur Erzeugung von Bändern aus Stahl oder NE-Metallen, wobei das Leitsystem durch Rechner-technik, aufbauend auf eingegebenem Vorwissen, den Zustand der Anlage und Einzelheiten eines in der Anlage ablaufenden Herstellungsprozesses, z. B. eines kontinuierlichen Gießprozesses für Bänder, selbsttätig erkennend und zur Erzielung in s sicheren Produktionserfolges situationsgerechte Anweisungen gebend, ausgebildet ist.



**DE 195 08 476 A 1**

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Leitsystem für eine Anlage der Grundstoff- oder der verarbeitenden Industrie o. ä., z. B. für eine hüttentechnische Anlage, etwa zur Erzeugung von Bändern aus Stahl oder NE-Metallen, wobei das Leitsystem durch Rechner-technik, aufbauend auf eingegebenem Vorwissen, den Zustand der Anlage und Einzelheiten eines in der Anlage ablaufenden Herstellungsprozesses, z. B. eines kontinuierlichen Gießprozesses für Bänder, selbsttätig erkennend und zur Erzielung eines sicheren Produktionserfolges situationsgerechte Anweisungen gebend, ausgebildet ist.

Für industrielle Anlagen zur Erzeugung oder Verarbeitung von Gütern oder Energie besteht seit jeher ein Bedürfnis nach einem Leitsystem, das eine optimale und dabei insbesondere kostengünstige, Führung des in der Anlage durchgeführten Prozesses ermöglicht. Diesem Bedürfnis wurde bisher suboptimal durch Einrichtungen der konventionellen Regeltechnik soweit wie möglich Rechnung getragen. Insbesondere bei Produktionsprozessen, die große regeltechnische Probleme mit sich bringen, steigt jedoch der notwendige regeltechnische Aufwand enorm an, ohne daß das erreichte Ergebnis wirklich zufriedenstellend ist.

Bei Bandgießanlagen für Metall, deren Betrieb besonders große regeltechnische Probleme mit sich bringt und die daher beispielhaft im weiteren behandelt werden, ist es bereits bekannt, mit miteinander verbundenen Einzelreglern oder Regelkreisen zu arbeiten. Beispiele zeigen die EP 0 138 059 A1 und die EP 0 228 038 sowie der Aufsatz "Development of twin-drum strip caster for stainless steel" von K. Yanagi u. a., Metec Conference, Juni 1994, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd/Nippon Steel Corp. Die bekannten Regelungen, die suboptimal arbeiten, obwohl sie teilweise bereits mit Reglern ausgerüstet sind, die mathematische Modelle benutzen, führen zur Herstellung von Bändern, deren Maßhaltigkeit und Qualität noch relativ großen Schwankungen unterliegen. Besonders nachteilig ist dabei, daß die Anlagen, die mit den bekannten Reglern und Regelkreisen arbeiten, schnelle, vorzugsweise hydraulische, Stellglieder benötigen, die sehr kostenaufwendig sind.

Um die vorstehenden Nachteile zumindest teilweise zu vermeiden, ist es bekannt, Expertensysteme zu verwenden. Expertensysteme als sogenannte intelligente Systeme, mit denen die Qualität der hergestellten Produkte auch in bezug auf regeltechnisch schlecht beherrschbare Qualitätsmerkmale verbessert werden soll, sind auch für Anlagen der Grundstoffindustrie bekannt, so z. B. aus dem Aufsatz "Process optimization for maximum availability in continuous casting", veröffentlicht in der Zeitschrift "Metallurgical Plant and Technology International 5/1994". Derartige Expertensysteme, die den Produktionserfolg durchaus verbessern können, beseitigen jedoch nicht die prinzipiellen Schwächen der konventionellen Regelung. Diese werden insbesondere dann sichtbar, wenn es sich um Vorgänge handelt, die (wie etwa in der Grundstoffindustrie) wegen des Fehlens geeigneter Sensoren, etwa im Innern von Hochtemperaturvorgängen, nicht direkt geregelt werden können.

Speziell zur Regelung des Bandgießens von Stahl ist es zur indirekten Regelung aus der EP 0 411 962 A2 weiterhin bekannt, mit einer Kurvenschar zulässiger Eingangsgrößen als Anlagenführungsbasis zu arbeiten. Die Kurvenschar gibt den Verlauf von als sicher erkannten Eingangsgrößen-Konstellationen wieder. Ein derartiges Vorgehen, bei dem Expertenwissen über Sollwertvorgaben in die Anlagenführung umgesetzt wird, erfordert bei Qualitäts- oder Anforderungsänderungen aufwendige Anlagen-Verhaltenstests zur Ermittlung neuer Führungskurven. Darüber hinaus ist nur ein Arbeiten in weitem Abstand vom Prozeßoptimum möglich.

Es ist Aufgabe der Erfindung, insbesondere für konventionell schwierig zu regelnde Produktionsprozesse, z. B. für das Bandgießen von Metallbändern, ein Leitsystem anzugeben, mit dem sicher in kostengünstigen Anlagen ein besserer Produktionserfolg erreicht werden kann.

Die Aufgabe wird durch ein tatsächlich intelligent ausgebildetes Leitsystem gelöst, das aufbauend auf eingegebenem Vorwissen, selbsttätig situationsgerechte Anweisungen für eine sichere und möglichst gute (optimale) Prozeßführung gibt. Es handelt sich also um eine vollständig ausgebildete technische Intelligenz, die überraschenderweise bereits mit den heute zur Verfügung stehenden rechentechnischen Mitteln auch für Prozeßleitsysteme von Großanlagen realisiert werden kann.

In Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß das erfindungsgemäße Leitsystem die situationsgerechten Anweisungen rechentechnisch schrittweise optimierend ausgebildet ist. Hierdurch wird eine weitere Steigerung des intelligenten Verhaltens erreicht, die zu einer Qualität der Prozeßführung führt, die durch menschliches Bedienungspersonal nicht oder zumindest nicht in der rechentechnisch erreichbaren, kurzen Zeit erzielbar ist.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß das eingegebene Vorwissen, also das von Menschen vorgegebene Prozeßwissen, vorzugsweise selbsttätig, laufend durch am Prozeß während der Produktion intern rechentechnisch, z. B. in unterschiedlichen Betriebspunkten, gewonnenes Wissen verbessert und dieses selbstgenerierte Prozeßwissen in einen, insbesondere ständig aktualisierten, Datenspeicher als neues Vorwissen übernommen wird. So wird sehr vorteilhaft eine ständig verbesserte Grundlage für eine weitere Adaption oder Optimierung des Prozesses geschaffen. Das gewonnene Wissen ist dabei nicht nur auf genauere Parameter etc. beschränkt, sondern schließt auch insbesondere die Prinzipien der verwendeten Algorithmen etc. mit ein.

Insbesondere für das Erreichen eines sicheren Produktionserfolges, der die Grundlage des Vertrauens der Kunden in ein derartiges System bildet, ist vorgesehen, daß das Leitsystem ein Basis-Funktionssystem für die Anlagenkomponenten aufweist, welches die Anweisungen aus dem rechentechnisch, z. B. aus einem Prozeßmodell, vorzugsweise einem Prozeßgesamtmodell, gewonnenen Wissen, sicher in die Anlagenführung umsetzt. Durch die Verbindung eines sicheren Basisfunktionssystems, das vorzugsweise als ein die Anlagenkomponenten je für sich oder zusammengefaßt sicher arbeitsfähig machendes Basisautomatisierungssystem ausgebildet ist, mit einem situationsgerecht angepaßten, statischen Prozeßmodell, ergibt sich eine Ausführung, die in bezug auf die Sicherheit der Prozeßführung der herkömmlichen Ausbildung eines Leitsystems mindestens gleichwertig, in bezug auf das Kosten/Nutzenverhältnis und das sicher erreichbare Prozeßergebnis, aber überlegen ist.

Von besonderem Vorteil ist dabei, daß die situationsgerechten Anweisungen, z. B. in Form von Einstellwerten,

den Anlagenkomponenten direkt in Form von Ansteuerungswerten, etwa von Positionen oder insbesondere indirekt, z. B. über Reglersollwerte, etwa für Drehzahlen, aufgegeben werden. Die Anweisungen werden besonders vorteilhaft direkt aus den Größen des Prozeßmodells bestimmt. Dies geschieht für zeitkritische Sollwerte vorteilhaft on-line, sonst off-line. So ergibt sich eine besonders günstige Reaktion der Anlage auf geänderte Prozeßbedingungen unter vorteilhaft möglicher Einsparung von Sollwertrechnern.

Vorteilhaft wird zur Erhöhung der Betriebssicherheit das Basisautomatisierungssystem als autonomes, einen sicheren Zustand der Anlage oder der Anlagenkomponenten und des Prozeßzustandes garantierendes Subsystem, z. B. als Gefahren-Zustands-Rückfallsystem ausgebildet, das ggf. anstelle der rechentechnisch erzeugten Anweisungen, insbesondere auf als sicher erkannte, im Datenspeicher abgelegte, Betriebswerte zurückgreifen kann. So ist ein sicheres, wenn auch suboptimales Arbeiten der Anlage auch bei einem Ausfall oder beim Auftreten von Fehlfunktionen des intelligenten Rechnerteils möglich.

Das Basisfunktionssystem weist vorteilhaft auch Start- und Hochlaufprozeduren auf, die manuell oder automatisch eingegeben werden können, sowie suboptimale Normalbetriebsroutinen, in denen einzelne, sonst rechentechnisch ermittelte, Anweisungen durch konstante, sichere Vorgaben ersetzt werden können. Eine derartige Ausgestaltung des Basisfunktionssystems ist besonders für die Inbetriebnahmephase, für einen Betrieb mit sprunghaftem Anforderungswechsel etc. vorteilhaft. Zur, wenn auch suboptimalen, Funktion des intelligenten Rechnerteils brauchen auch nicht immer alle Modellteile in spezifisch angepaßter Form zur Verfügung stehen. Es ist vorteilhaft auch ein Betrieb mit einem nur teilweise ausgearbeiteten und/oder angepaßten Prozeßgesamtmodell möglich.

Das Prozeßmodell selbst ist in der Form als Prozeßgesamtmodell insbesondere modular aufgebaut und beschreibt das Verhalten zwischen den Prozeßeingangsgrößen sowie den Stellgrößen und den Prozeßausgangsgrößen, z. B. Qualitätskennwerten des erzeugten Produktes. Die Modularität erlaubt dabei eine besonders vorteilhafte Ausgestaltung und Bearbeitung des Prozeßgesamtmodells, da von einzelnen, gut übersehbaren, Teilmodellen ausgegangen werden kann. Das Prozeßmodell beruht vorteilhaft soweit wie möglich auf mathematischen Beschreibungsformen. Wo derartige mathematische Beschreibungsformen nicht möglich sind, wird etwa auf linguistisch formulierte Modellteile zurückgegriffen, die z. B. durch Fuzzy-Systeme, Neuro-Fuzzy-Systeme, Expertensysteme o. ä. realisiert sein können. Für, z. B. völlig neue, Anlagenkomponenten, für die keine Modellbildung auf Basis mathematisch-physikalischer, chemischer oder metallurgischer Grundlagen o. ä. oder aufgrund von linguistisch beschreibbarem prozeßwissen möglich ist, werden selbstlernende Systeme, z. B. neuronale Netze verwendet. So ergibt sich für alle Produktionsanlagen, gleichgültig wie groß sie ausgelegt oder wie sie ausgestaltet sind, die Möglichkeit, ein Prozeßgesamtmodell zu erstellen.

Es ist natürlich auch möglich, den Produktionsprozeß mit den Teilen, für die kostengünstige konventionelle Lösungen zur Verfügung stehen, konventionell zu betreiben. Dann wird das sonst notwendig gewesene Modellmodul unter Berücksichtigung der Wirkung des verwendeten konventionellen Teils passend ersetzt. Dieses Vorgehen bietet sich u. U. im Haspelbereich eines Walzwerks an.

Das Prozeßmodell wird vorteilhaft aufgrund von an der Anlage gesammelten Prozeßdaten, die in einer Prozeßdatenbank archiviert werden, dem Prozeß fortlaufend angepaßt und weiter verbessert, wobei dies vorteilhaft mittels adaptiver Verfahren, Lernverfahren, z. B. durch ein Backpropagation-Lernverfahren oder auch ein Auswahlverfahren für verschiedene Teilmodelle, etwa neuronale Netze oder deren Teile, geschieht. So ergibt sich ein in wesentlichen Teilen selbstgelerntes Modell, das on-line oder off-line angepaßt oder verbessert werden kann.

In vorteilhafter Ausgestaltung ist vorgesehen, daß die einstellbaren prozeßvariablen durch den Optimierer am Prozeßmodell derart optimiert werden, daß die Modellausgangsgrößen, die insbesondere Qualitätskennwerte des Produktes sind, möglichst gut mit vorgegebenen, z. B. den anzustrebenden, Werten übereinstimmen. Durch eine off-line-Bearbeitung der Optimierung wird der hohe Rechenaufwand derartiger Vorgänge kostengünstig beherrschbar. Die off-line-Optimierung kann sowohl auf einer separaten Recheneinheit parallel zu der Modelladaption, als auch in Pausen, z. B. am Wochenende oder bei Reparaturstillständen auf dem Rechner, der z. B. im Betrieb die Führungsgrößen des Basis-Funktionssystems ausgibt, erfolgen.

Die Optimierung erfolgt vorteilhaft mit bekannten Optimierungsverfahren, insbesondere über genetische Algorithmen. Die Auswahl der Optimierungsverfahren erfolgt dabei situations- und problemabhängig. Sie kann sowohl durch eine Vorgabe, z. B. aufgrund einer Analyse des Prozeßverlaufs, oder durch rechentechnische Auswahl aus einer Optimierungs-Methodensammlung erfolgen. Hierfür kann ein einfaches "Trial and Error"-Vorgehen angewendet werden, es empfiehlt sich jedoch zur Verminderung des Rechenaufwandes, das "Trial and Error"-Vorgehen durch Konvergenzkriterien, Methoden der Mustererkennung beim Fehlerabnahmeverlauf etc. zu unterstützen.

Die jeweiligen Startwerte für eine Optimierung werden vorteilhaft auf Basis der in einem Prozeßdatenspeicher archivierten, suboptimalen Betriebsdaten ermittelt. So verringert sich der Optimierungsaufwand, da die Optimierungsrechnung schon mit voroptimierten Werten beginnt, wenn sie als sicher erkannte Zwischenwerte als Startwerte benutzt.

Die Verbesserung des Gesamtsystems erfolgt zumindest dreistufig. Die unterste Stufe bildet die laufende Verbesserung des vorhandenen Prozeßwissens, abgelegt im Datenspeicher, z. B. in Form von suboptimalen, sicheren Betriebspunkten, die selbsttätig fortlaufend auf ein besser angepaßtes Wissensniveau gebracht werden, und von dem dann wiederum weiter ausgegangen wird.

Die zweite Stufe bildet im wesentlichen die Modelladaption, die das Modellverhalten dem prozeßverhalten möglichst gut anpaßt.

Als dritte Stufe erfolgt eine fortlaufende Verbesserung der situationsgerechten Anweisungen durch den Prozeßoptimierer, z. B. über evolutionäre Strategien, genetische Algorithmen etc. Diese Strategien erfordern eine große Rechenzeit und laufen vorzugsweise off-line ab.

Die Systemverbesserung wird vorwiegend auch noch durch externe Simulationsrechnungen, Modellversuche, evtl. auch durch Versuche an der Produktionsanlage mit neuen Hilfsmitteln etc., laufend unterstützt.

Das erfindungsgemäße Leitsystem wird im folgenden beispielhaft anhand einer Bandgießanlage für Stahl beschrieben. Dabei ergeben sich weitere, auch erfinderische Einzelheiten und Vorteile aus der Zeichnung und der Zeichnungsbeschreibung ebenso wie aus den Unteransprüchen.

Im einzelnen zeigen:

Fig. 1 eine schematisierte Darstellung der Bandgießanlage mit Meßdatenerfassung und Stellgrößenausgabe,

Fig. 2 die Struktur des "intelligenten" Teils des Leitsystems mit der Sollwert-Vorgabebildung,

Fig. 3 Einzelheiten des Prozeßoptimierers,

Fig. 4 Einzelheiten des Adaptionsvorgangs,

Fig. 5 wesentliche Bestandteile des Prozeßmodells und ihre Grob-Verknüpfungsstruktur,

Fig. 6 erfindungswesentliche Teile des Datenspeichers und

Fig. 7 ein Komponenten-Schema der Basisautomatisierung.

In Fig. 1 bezeichnet 1 die Gießwalzen einer Zweiwalzen-Gießeinrichtung, wobei zwischen den Gießwalzen 1 das Material, etwa flüssiger Stahl, aus der Gießpfanne 4 über den Tundish 5 und ein Tauchrohr 6 eingegeben wird und zu einem Band 3 erstarrt, das in einer, durch die Kreise 2 mit Bewegungspfeilen symbolisierten, Walzanlage weiterverformt werden kann. Die nachgeschaltete Walzanlage kann auch einfach durch Förderrollen, eine Haspel o. ä. ersetzt werden, wenn das Auswalzen nicht unmittelbar nach dem Gießen erfolgen soll. Die Ausgestaltung der Gesamtanlage wird anforderungsspezifisch vorgenommen. Auch eine Ausbildung der, der Gießeinrichtung nachgeschalteten, Anlage als Warm-Kalt-Walzwerk ist möglich und bei sehr hohen Gießgeschwindigkeiten empfehlenswert, da dann auch der Walzteil der Anlage ausreichend ausgelastet sein kann.

Zwischen den Gießwalzen und den nachgeschalteten Einrichtungen weist die Gießwalzeinrichtung vorzugsweise ein ebenfalls nur symbolisch dargestelltes elektrodynamisches System 8,9 und ein Induktionsheizsystem 10 auf. Der elektrodynamische Systemteil 8 dient dabei vorteilhaft der Gewichtsentlastung, des gegossenen, hier noch sehr weichen und damit einschnürungsgefährdeten, Bandes 3 und der elektrodynamische Systemteil 9 der Führung des Bandes 3, während dem Induktionsheizsystem 10 die Einhaltung eines vorherbestimmten Temperaturprofils über die Bandbreite obliegt, wenn sich z. B. eine direkte Nachverformung in einer Walzanlage anschließt. Dies ist insbesondere für rißempfindliche Stähle vorteilhaft. Die Kontrolle des gegossenen Bandes 3 auf Risse erfolgt durch eine Kamera 73, wobei vorteilhaft ausgenutzt werden kann, daß das Rißbild im Zunder durch Risse im Grundmaterial beeinflußt wird. Die Bildung einer Meßgröße erfolgt dabei vorteilhaft durch ein Neuro-Fuzzy-System.

Da die Oberflächentemperatur der Gießwalzen zur Vermeidung von Temperaturwechselbeanspruchungen im wesentlichen konstant sein soll, werden diese durch ein IR-Heizsystem 7, ein Induktionsheizsystem o. ä. auch in dem, nicht mit flüssigem Stahl in Berührung stehenden Bereich, auf Arbeitstemperatur gehalten. Diese und andere Einzelkomponenten der, nur grob schematisch gezeichneten, Gießwalzeinrichtung werden z. B. über Temperaturregler, Durchflußeinsteller, Drehzahlregler etc. im Rahmen der Basisautomatisierung über eine Stellgrößenausgabe 12 direkt oder geregelt eingestellt. Die Ist-Daten der Stellglieder, der Regler etc. werden in der Meßdatenerfassung 11 für den Datenspeicher und den Modelleingang sowie in nicht gezeigter Weise für die Basisautomatisierung zusammengefaßt und aufbereitet. Durch die Datenübertragungen I,II und VI, die durch Pfeile symbolisiert sind, ist die Gießwalzeinrichtung, in der die auf den beiden Gießwalzen 1 gebildeten Erstarrungsschalen des Stahls nicht nur vereinigt, sondern auch schon wälzend vormaßhaltig geformt werden, mit dem intelligenten Teil des Leitsystems verbunden.

Fig. 2 zeigt die Struktur des intelligenten Teils des Leitsystems. Dieser besteht im wesentlichen aus den Teilen Prozeßoptimierer 15, Modell 20, Modelladaption 16 und Datenspeicher 17. Diese Teile des Leitsystems wirken derart zusammen, daß über die Sollwertausgabe 13 möglichst gute, situationsgerechte Anweisungen über die Datenleitung V zur Prozeßführung zur Verfügung gestellt werden. Diese Anweisungen werden dann in Sollwerte für die Basisautomatisierung umgesetzt. Im folgenden wird die Aufgabe und die Funktion der einzelnen Teile beschrieben.

Das Modell 20 bildet das statische prozeßverhalten

$$y_i = f_i(u_1, \dots, u_i, \dots, v_1, \dots, v_i, \dots),$$

d. h. die Abhängigkeit der n Modellausgangsgrößen  $y_i$  von den Stellgrößen  $u_i$ , mit denen der Prozeß beeinflußt werden kann, und von den nichtbeeinflussbaren Prozeßgrößen  $v_i$ , wie z. B. der Kühlwassertemperatur, nach. Die Modellausgangsgrößen sind dabei, wie schon erwähnt, typische Qualitätsparameter des Produktes. Die Modellbeschreibung

$$\bar{y}_i = \bar{f}_i(u_1, \dots, u_i, \dots, v_1, \dots, v_i, \dots)$$

erfaßt das Prozeßverhalten im allgemeinen nicht exakt, weshalb  $y_i$  und  $\bar{y}_i$  mehr oder weniger voneinander abweichen. Übertragen werden die Stellgrößen  $u_i$  und die nichtbeeinflussbaren Stellgrößen  $v_i$  über die Datenleitungen I und II.

Die Modelladaption 16 hat die Aufgabe das Modell zu verbessern, damit das Modellverhalten möglichst gut dem prozeßverhalten entspricht. Dies kann — zumindest für Modellteile — on-line geschehen, indem diese Modellteile auf der Basis von laufend erfaßten Prozeßdaten adaptiert oder nachgeführt werden.

Für andere Modellteile kann die Adaption auch off-line zu bestimmten Zeitpunkten vorgenommen werden.

Dies geschieht auf der Basis der Anzahl  $m$  von den Prozeß repräsentierenden Prozeßzuständen  $(u_i^k, v_i^k, y_i^k)$ , die im Datenspeicher 17 abgelegt sind. Der Index  $k$  bezieht den jeweiligen prozeßzustand. Bei dieser Art der Adaption wird der Modellfehler

$$\begin{aligned} \epsilon &= \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n (y_i^k - \bar{y}_i^k)^2 \\ &= \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n \left( f_i(u_i^k, \dots, u_i^k, \dots, v_i^k, \dots, v_i^k, \dots) - \bar{f}_i(u_i, \dots, u_i, \dots, v_i, \dots, v_i, \dots) \right)^2 \end{aligned}$$

minimiert in Abhängigkeit von den Modellparametern oder der Modellstruktur. D.h. man variiert die Modellparameter bzw. die -struktur so, daß  $\epsilon$  möglichst klein wird.

Der Prozeßoptimierer hat die Aufgabe, mittels eines Optimierungsverfahrens und des Prozeßmodells Stellgrößen  $u_i$  zu finden, die zu einem möglichst guten prozeßverhalten führen. Der Prozeßoptimierer arbeitet off-line zu bestimmten, beispielsweise manuell vorgebbaren Zeitpunkten und zwar wie folgt:

Zuerst werden die nichtbeeinflussbaren Stellgrößen  $v_i$  für die die Optimierung erfolgen soll — z. B. die aktuellen —, konstant gehalten und dem Modell über die Datenleitung II zugeführt. Sodann wird mittels Schalter 18 der Prozeßoptimierer mit dem Modell verbunden. Er gibt Stellwerte  $u_i$  auf das Modell. Über das Modell werden die Ausgangswerte  $\bar{y}_i$  bestimmt. Diese werden mit Sollausgangswerten  $y_{soll,i}$  verglichen, und es wird der Fehler

$$E = \sum_{i=1}^n (y_{soll,i} - \bar{y}_i)^2$$

bestimmt.

Der Fehler  $E$  soll minimiert werden. Zu diesem Zweck variiert der Prozeßoptimierer die Stellgrößen  $u_i$  solange in einer iterativen Schleife, die jeweils die Berechnung von  $y_i$  und  $E$  sowie die Neuauswahl von  $u_i$  enthält, bis der Fehler nicht weiter verringert werden kann oder man diese Optimierung abbricht. Als Optimierungsverfahren können beispielsweise genetische Algorithmen, Hill-Climbing-Methoden etc. eingesetzt werden.

Die so erhaltenen optimalen Stellgrößen  $u_{opt,i}$  die das Ergebnis obiger Minimierung sind, werden dann über die Sollwertvorgabe und die Datenleitung V als Sollwerte zum Basisfunktionssystem transferiert.

Der Datenspeicher hat die Hauptaufgabe repräsentative Prozeßzustände  $(u_i, v_i, y_i)$  zu archivieren. Hierbei ersetzt er alte Prozeßdaten immer wieder durch neu ermittelte, um anhand dieser Daten eine aktuelle, wenn auch punktuelle, Prozeßbeschreibung zu ermöglichen. Der Datenspeicher versorgt dann einerseits, wie oben beschrieben, die Modelladaption. Andererseits liefert er auch Startwerte  $u_i$  für den Prozeßoptimierer. Die Startwerte werden hierbei z. B. so ausgewählt, daß die zu diesen Startwerten gehörenden Ausgangswerte  $y_i$  möglichst gut den Sollwerten  $y_{soll,i}$  entsprechen.

Die vorzugsweise off-line arbeitende Schleife: Modell 20 und Prozeßoptimierer 15, die sich etwa z. B. genetischer Algorithmen zur z. B. evolutionären Modellverbesserung bedient, arbeitet vorzugsweise deswegen off-line, weil wegen der Komplexität eines Anlagenleitmodells mit seinen vielen möglichen Ausgestaltungen die Rechenzeit eines evolutionären Optimierungsvorgangs vergleichsweise lang wird. Auch bei guten Optimierungsstrategien, die z. B. aufgrund einer Analyse des wahrscheinlichen Modellverhaltens ausgewählt werden, sind viele Optimierungsvorgänge bis zum Erreichen einer deutlichen Modellverbesserung durchzurechnen.

Die Erstellung einer erfindungsgemäß zu verwendenden Modellstruktur und eines wesentlichen Teilmodells wird z. B. in dem Aufsatz "Automation Of A Laboratory Plant For Direct Casting Of Thin Steel Strips" von S. Bernhard, M. Enning and H. Rabe in "Control Eng. Practice", Vol.2, No.6, page 961—967, 1994, Elsevier Science Ltd. beschrieben. Aus dieser Veröffentlichung sind u. a. auch die Grundstrukturen geeigneter Basisautomatisierungssysteme und von Startroutinen zu ersehen, auf denen der Fachmann aufbauen kann.

Als Rechner für die Prozeßoptimierung und die Parameteradaption sind Workstations, z. B. von der Firma Sun, geeignet. Für große Leitsysteme werden vorteilhaft parallel arbeitende Rechner eingesetzt. Dies gilt insbesondere, wenn das Modell in Gruppen von Modell-Modulen aufteilbar ist, die teilabhängig voneinander optimiert werden können.

Im Vergleichspunkt 19, in den die Sollwerte, im gewählten Ausführungsbeispiel die Sollwerte für die Banddicken, die Profilform, die Oberflächengüte des Bandes etc. einfließen, werden laufend die Ergebnisse aus der Modellrechnung mit den Sollwertvorgaben verglichen. Die Differenz ist durch die Optimierung zu minimieren. Da die Differenz bei technischen Prozessen im allgemeinen nicht Null werden kann, muß der Optimierungsvorgang sinnvoll begrenzt, also vorgegeben abgebrochen werden. Genauere Einzelheiten der Programmstruktur, mit der die Optimierung abgebrochen und jeweils die neue Sollwertausgabe gestartet wird, zeigt Fig. 3.

In Fig. 3 bezeichnet 58 eine, jeweils auszuwählende, Fehlerfunktion, in die die festgestellten Fehler (Sollwertabweichungen) einfließen. In 61 wird nun untersucht, ob die Fehlerfunktion die Abbruchkriterien der Optimierung erfüllt. Falls dies der Fall ist, werden weiter optimierte Steuer- und Regelgrößen ausgegeben. Vor Erreichen des Abbruchkriteriums gelangen laufend Startwerte vom Datenspeicher in die Startwertvorgabe 59, aus denen in Suchschritten in 60, nicht vom Optimierer, sondern aus dem Datenspeicher, z. B. unter Zuhilfenahme einer Fuzzy-Interpolation, Steuer- und Regelparameter für eine suboptimale Prozeßführung gewonnen werden. Eine Umschaltung erfolgt nach Erreichen des vorherbestimmten Gütefaktors, der dem jeweiligen Leitsystem-



Wissensstand angepaßt wird. Wie bereits vorstehend gesagt, wird die Minimierung, niemals absolut sein kann, bei Erreichen des vorgegebenen Gütefaktors abgebrochen.

Aus dem Modell wird im übrigen vorteilhaft, wenn es an den Prozeß angeschlossen, d. h. Schalter 1 geschlossen ist, auch ein Alarmsignal generiert, welches das Erreichen kritischer Betriebszustände signalisiert. Derartige

Prozeduren sind bereits bekannt und finden sich in gleicher Weise auch in konventionellen Leitsystemen. In Fig. 4, die die Struktur einer Modelladaption mittels eines Optimierungsalgorithmus zeigt, gelangen Daten aus der Startwertvorgabe 61 in eine Suchschritteinheit 62 und werden von dort als Modellparameter an das Modell 63 weitergegeben. Das Modell 63 bildet zusammen mit dem Datenspeicher 64 eine Parameterverbesserungsschleife, die in 65 in bekannter Weise die gebildeten und gespeicherten Werte vergleicht. Die Vergleichswerte werden der Fehlerfunktion 67 zugeführt, die ihre Werte an die Abbruchkriterieneinheit 66 weitergibt. Sind die Abbruchkriterien erfüllt, wird das Modell nicht mehr weiter verbessert und mit den vorhandenen Werten gearbeitet. Sonst wird die Optimierung mit weiteren Suchschritten und den Zwischenwerten im Datenspeicher weitergeführt.

In Fig. 5, die die wesentlichen Teilmodelle des Prozeßgesamtmodells des Ausführungsbeispiels zeigt, bezeichnet 46 das Eingangsmodell, in dem die Außeneinflüsse, etwa die Einflüsse aus der Qualität des eingesetzten Materials, zusammengefaßt sind. Aus der Stahl-Einsatzqualität ergibt sich z. B. der Liquiduswert, der Soliduswert, sowie weitere, das Gießverhalten kennzeichnende Größen. 47 bezeichnet das Tundishmodell, in das z. B. das Stahlvolumen des Tundish, die Tauchrohrstellung o.ä.; die Stopfenstellung und die Stahl-Ausflußtemperatur eingehen. Die Eingangsmodelle 46 und 47 werden im Teilmodell 56 zusammengefaßt, das den Status des zugeführten Materials wiedergibt. Derartige Teilmodelle können vorteilhaft parallel zu anderen Teilmodellen, etwa dem Gießbereichsmodell, dem Walzbereichsmodell o. ä. optimiert werden.

Das Eingangsmodell 48 enthält die Einflüsse, die die Erstarrung beeinflussen, z. B. die Gießwalzenkühlung, die Infrarotheizung etc., Das Eingangsmodell 49 enthält die Werte, die für die Wärmebilanz notwendig sind, so die Stahl-Gießwalzen-Temperaturdifferenz, den Schmiermitteleinfluß als Funktion der Schmiermittelmenge, die Kristallbildungsgeschwindigkeit der jeweiligen Stahlsorte sowie z. B. den Walzenoberflächenzustand. Das Eingangsmodell 50 enthält z. B. die Einflüsse der Gießspiegelcharakteristik, so die Gießspiegelhöhe, die schlackenschichtdicke und den Abstrahlungskoeffizienten. Die Eingangsmodelle 48, 49 und 50 sind zu einem Teilmodell 54, das den Status Gießbereich wiedergibt, zusammengefaßt. Diese Modellbereichs-Zusammenfassung ist allgemein für Produktionsbereiche vorteilhaft, da sie die Gesamt-Modelloptimierung vereinfacht und verbessert. Unter sich sind die Teilmodelle z. T. noch voneinander abhängig, so etwa in erheblichem Maß die Eingangsmodelle 49 (Eingangsmodell Wärmebilanz) und 50 (Eingangsmodell Gießspiegelcharakteristik). Sekundärabhängigkeiten sind zur Vereinfachung nicht dargestellt.

Das Teilmodell 51 enthält alle Einflüsse auf die Erstarrungsfront, d. h. auf den Bereich, in dem die auf den beiden Kühlwalzen erstarrten Metallschalen zusammentreffen. Im wesentlichen sind diese Einflüsse die Umformarbeit, die von den Gießwalzen geleistet wird, die Vibrationsweite der Gießwalzen oder des austretenden Bandes, die Seitenspalt-Dichtungseinflüsse und der Anstrengungsgrad des Gesamtsystems, dies ist z. B. ein Fuzzy-Modell. Das Teilmodell 52 gibt die Austrittswerte wieder, so z. B. die Qualität des Bandes, die Austrittstemperatur- und Verteilung, aber auch die Klebeneigung und den Zustand des gebildeten Zunders. In das Teilmodell 52 geht auch das Eingangsmodell 53 und das Eingangsmodell 74 ein, die sich auf den Temperaturverlauf quer zum Band und auf den Oberflächenzustand des Bandes beziehen. Für den besonders vorteilhaften Fall, daß es sich um ein Bandgieß-Walzwerk handelt, gehen auch die Walzwerksteilmodelle 54 mit in dieses spezielle Prozeßmodell ein, da die Produktausbildung nach dem Austritt aus den Walzgerüsten das entscheidende Kriterium ist.

Die Teilmodelle sind zu dem Produkt-Ausbildungsmodell 57 zusammengefaßt, welches das Dickenprofil des gebildeten Bandes, die Banddicke, ein evtl. auftretendes Fehlerbild, die Kornstruktur des Bandes, die Oberflächenstruktur etc. zusammenfaßt. Die Oberflächenstruktur und insbesondere die Kornstruktur des Bandes sind nur mit erheblicher Zeitverzögerung ermittelbar. Hier arbeitet man daher vorteilhaft mit Teilmodellen auf der Basis von neuronalen Netzen zur qualitativen und quantitativen Einflußgrößenermittlung.

Aus der vorstehenden Darstellung ergibt sich der besondere Vorteil, der sich aus der Ausbildung des Modells in Modulform ergibt, da insbesondere so die Teile eines komplexen Gesamtprozeßmodells parallel bearbeitbar werden. Dies ist besonders vorteilhaft für den Inbetriebsetzungszeitraum einer Anlage, in dem die Eingangs- und Teilmodelle den tatsächlichen Verhältnissen angepaßt-, miteinander verknüpft etc. werden müssen.

Fig. 6 zeigt schließlich den erfindungsgemäß wesentlichen Teil der Datenspeicherstruktur. 68 bezeichnet das Prozeßdatenarchiv, 69 den Modellparameterspeicherteil, 70 den Teil mit den Startwerten für den Optimierer und 71 den Speicherteil für die sicheren Betriebspunkte. In 68 wird auch die jeweilige Modellausbildung gespeichert.

Die Basisautomatisierung, die mit ihren Regelungen, Steuerungen, Verriegelungen etc., einen unverzichtbaren Teil des Leitsystems bildet, da sie u. a. das sichere Funktionieren der Anlage auch bei einer Fehlfunktion des Modellteils des erfindungsgemäß arbeitenden Leitsystems garantiert, muß eine Vielzahl von Funktionen erfüllen.

Die einzelnen Funktionen sind, nicht abschließend, durch die einzelnen "black box" in Fig. 7 symbolisiert. Dabei bedeutet 21 im Ausführungsbeispiel die Massenflußregelung über die Einzel-Drehzahlregler, 22 die Regelung der Tundish-Heizung, 23 die Gießspiegelregelung, 24 die Tundish-Ausflußregelung und 25 die Heizleistung des Infrarot- o. ä. Schirms 7 für die Aufrechterhaltung der Betriebstemperatur der Gießwalzen. 26 bedeutet die Regelung der Schmiermittelzugabe, z. B. in Form von losem Gießpulver oder von auf die Gießwalzen aufgetragener Gießpulverpaste, 27 die Kühlwassermengenregelung, 28 ggf. die Walzenoszillationsregelung, 29 die elektrische Antriebsregelung und 30 die Walzspalteinstellung. 31 bedeutet die Walzendrehzahlregelung und 32 ggf. die Regelung des Walzendrehmoments, 33 die Einstellung des Reinigungssystems, bestehend bei-



spielsweise aus einer Bürste und einem Schaber für die Gießwalzen und die Regelung des elektrodynamischen Systems zum Ausgleich des Bandgewichtes sowie 35 die Regelung der Vibrationsweite des gegossenen Bandes. 36 bedeutet die Regelung der einzelnen Teile eines elektrodynamischen Systems zur Seitenspaltabdichtung und 37 die Regelung der Heizung für die Seitenwände des Raumes zwischen den Gießwalzen. 38 bedeutet die Temperatur-Profilregelung des Induktionsheizsystems 10. 39 sowie angedeutete weitere Regeleinheiten beziehen sich auf Regelungen der nachgeschalteten Verformungseinheiten, z. B. Walzgerüsten, den Zug zwischen diesen Walzgerüsten etc. Auf die vorstehenden Stellglieder, Regler etc. wirkt die Zeitsteuerung 45, die die Stellgrößenausgaben etc. zeitlich koordiniert. Im Block 40 sind beispielhaft die Hilfs-Steuerungen und die Verriegelungen zusammengefaßt, so bedeuten z. B. 41 die Anfahrautomatik, 42 die Ausschaltautomatik, 43 und 44 Verriegelungen, die z. B. verhindern, daß Flüssigstahl fließen kann, bevor das Gieß-Walzenpaar und die Verformungswalzen arbeitsfähig sind, etc. Darüber hinaus sind weitere, in dem Prinzipbild nicht dargestellte, Systeme für die ggf. erforderliche Bandkantenabtrennung, z. B. durch Laser, für die Zunderausbildungsbeeinflussung, z. B. durch Silikatisierung, die Walzenschmierung etc. vorhanden. In der Basisautomatisierung, in die die Meßdaten I und die Sollwertvorgaben V eingehen, werden die Stellgrößen VI generiert, über die die Anlage geführt wird.

Die Charakteristik des sich selbst optimierenden und wissenschaftlich weiterentwickelnden Leitsystems, am Beispiel des Gießwzprozesses gezeigt, werden im folgenden näher erläutert: Der Gießwzprozeß besteht aus einer Anzahl von Teilprozessen, deren Ausbildung und Einflüsse ausschlaggebend für das Endprodukt sind. Erfindungsgemäß beeinflufßbar und optimierbar sind dabei die Eigenschaften des Endproduktes, z. B. seiner Dicke, seinem Dickenprofil und seiner Oberflächenausbildung, durch eine Reihe einstellbarer Prozeßgrößen, wie z. B. dem Gießwzspalt, dem Gießwalzenprofil, der Gießspiegelhöhe etc., die wiederum die Lage der Vereinigungszone der auf den Gießwalzen abgeschiedenen, erstarrten Metallschalen beeinflussen. Für eine Regelung und Optimierung wird vorteilhaft erfindungsgemäß ein Gesamtprozeßmodell erstellt, welches das prozeßverhalten beschreibt. Auf der Basis dieses prozeßmodells können die Einflußgrößen, mit denen man den Prozeß beeinflufßt, schrittweise entsprechend den Prozeßbedingungen angepaßt und optimiert werden. Die durch diese Optimierung bestimmten situationsgerechten Anweisungen führen dann zu einer Verbesserung des Prozeßgeschehens. Insgesamt ergeben sich trotz der bei der Erstellung relativ aufwendigen, (aber mit geringerem Aufwand auch bei anderen Anlagen weiterverwendbaren), Software erhebliche Kostenvorteile, da die Anlage mit wesentlich einfacheren mechanischen Komponenten, weniger Reglern etc. arbeiten kann, als die bekannten Anlagen. Auch die Sensorik wird wesentlich einfacher, da nur die Prozeßausgangsgrößen laufend genau erfaßt werden müssen.

Zusammengesetzt ist der intelligente, sich selbständig verbessernde, Teil des Leitsystems aus drei wesentlichen Elementen: Dem Prozeßmodell, der Modelladaption und dem Prozeßoptimierer. Das Prozeßmodell setzt sich aus Teilsystemen (Modulen) zusammen, die je nach Prozeßkenntnis von unterschiedlichem Typ sein werden. Bei Kenntnis der physikalischen Zusammenhänge können klassische, physikalisch-mathematische Modelle erstellt werden. Verfügt man dagegen nur über Erfahrungswissen oder Schätzungen, so werden Fuzzy- oder Neuro-Fuzzy-Systeme verwandt. Falls man nur wenig oder nichts über das prozeßverhalten weiß, wie etwa bei der Ribildung und der Oberflächenausbildung setzt man, zumindest am Anfang, neuronale Netze für die Prozeßbildung ein. Insgesamt beschreibt das Modell den Zusammenhang zwischen den Prozeßgrößen, wie im gewählten Beispiel der Gießspiegelhöhe, den Zustandswerten und der Qualität des vergossenen Materials, den Einstellwerten der Gießwalzen etc. und den Qualitätsparametern des Bandes, z. B. der Dicke, dem Profil und der Oberflächenausbildung.

Da das Modell zu einem bestimmten, u. U. erheblichen, Prozentsatz auf unsicherem Wissen gründet, ist es nicht genau. Das Modell muß also anhand gewonnener Prozeßdaten adaptiert, verändert etc. werden. Dies geschieht vorteilhaft einerseits mittels der bekannten Modelladaption, die auf Daten vergangener Prozeßzustände aufsetzt. Auf Basis dieser Daten stellt sie die Modellparameter o. ä. so ein, daß das Modellverhalten möglichst gut dem des Prozesses entspricht. Außerdem werden die Modelle selbst verändernd optimiert, so z. B. durch genetische Algorithmen, eine kombinatorische Evolution etc. Entsprechende Optimierungsstrategien sind bekannt, z. B. aus Ulrich Hoffmann, Hanns Hofmann "Einführung in die Optimierung", Verlag Chemie GmbH, 1971 Weinheim/Bergstraße; H.P. Schwefel "Numerische Optimierung von Computer-Modellen mittels der Evolutionsstrategie", Basel, Stuttgart: Birkhäuser 1977; Eberhard Schöneburg "Genetische Algorithmen und Evolutionsstrategien, Bonn, Paris, Reading, Mass, Addison-Wesley, 1994; Jochen Heistermann "Genetische Algorithmen: Theorie und Praxis evolutionärer Optimierung, Stuttgart, Leipzig, Teubner, 1994 (Teubner-Texte zur Informatik; Bd 9)

Durch das erfindungsgemäße Leitsystem mit dem vorstehend beschriebenen erfindungsgemäßen Vorgehen wird die bisherige Aufbaustruktur eines Leitsystems verlassen. Über einer Basisautomatisierung, die im wesentlichen die Prozeßebene betrifft (Level I), befindet sich ein nur einstufiges, intelligentes Leitsystem, dem die produktionssollwerte vorgegeben werden und das daraus selbsttätig alle Vorgabegrößen (Stellbefehle) generiert (Level II). In intelligenter Selbstoptimierung sorgt es aufgrund des bereits erreichten Prozeßergebnisses für immer bessere Prozeßergebnisse. Einzelne Feed-Back-Regelkreise können entfallen. Nur für die Kontrolle der Prozeßergebnisse sind qualitätskontrollierende Sensoren notwendig. Das erfindungsgemäße Leitsystem besitzt also nur noch zwei wesentliche Ebenen, von denen die intelligente Ebene außer etwa zur Programmierung keiner Visualisierung bedarf. Zur Kontrolle können aber die Elemente der Basisautomatisierung in bekannter Weise visualisiert werden.

#### Patentsprüche

1. Leitsystem für eine Anlage der Grundstoff- oder der verarbeitenden Industrie, z. B. für eine hüttentechni-

sche Anlage, etwa zur Erzeugung von Bändern aus Stahl oder NE-Metallen, das Leitsystem durch Rechner-technik, aufbauend auf gegebenem Vorwissen, den Zustand der Anlage und Einzelheiten eines in der Anlage ablaufenden Herstellungsprozesses, z. B. eines kontinuierlichen Gießprozesses für Bänder, selbsttätig erkennend und zur Erzielung eines sicheren, ggf. möglichst hohen, Produktionserfolges situationsgerechte Anweisungen gebend, ausgebildet ist.

2. Leitsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß es die situationsgerechten Anweisungen optimierend, vorzugsweise selbsttätig in vorgegebenen Optimierungsroutinen optimierend, ausgebildet ist.

3. Leitsystem nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das eingegebene Vorwissen, vorzugsweise selbsttätig, laufend durch am Prozeßmodell während der Produktion intern rechentechnisch, z. B. in unterschiedlichen Betriebspunkten, gewonnenes Wissen verbessert und dieses selbst generierte Prozeßwissen in einen, insbesondere ständig aktualisierten, Datenspeicher als neues Vorwissen übernommen wird.

4. Leitsystem nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die situationsgerechten Anweisungen, z. B. in Form von Einstellwerten, den Anlagenkomponenten direkt in Form von Ansteuerungswerten, etwa von Positionen oder insbesondere indirekt, z. B. über Reglersollwerte, etwa für Drehzahlen, aufgegeben werden.

5. Leitsystem nach Anspruch 1, 2, 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß es ein Basis-Funktionssystem für die Anlagenkomponenten aufweist, das die Anweisungen aus dem rechentechnisch, z. B. aus einem Prozeßmodell, vorzugsweise einem Prozeßgesamtmodell, gewonnenen Wissen sicher in die Anlagenführung umsetzt.

6. Leitsystem nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Basis-Funktionssystem als ein die Anlagenkomponenten, je für sich oder zusammengefaßt, sicher arbeitsfähig machendes Basis-Automatisierungssystem ausgebildet ist.

7. Leitsystem nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Basis-Funktionssystem seine Vorgabewerte direkt aus dem intelligenten Teil des Leitsystems erhält, das diese Werte aus den Ergebnissen von Adaptierungs- und/oder Optimierungsprozessen am Prozeßmodell bestimmt.

8. Leitsystem nach Anspruch 5, 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Basis-Automatisierungssystem als autonomes, einen sicheren Zustand der Anlage und des Prozesses garantierendes Subsystem (Gefahren-Zustands-Rückfallsystem) ausgebildet ist, das anstelle der rechentechnisch erzeugten Anweisungen, insbesondere auf als sicher erkannte, im Datenspeicher abgelegte, Betriebswerte zurückgreifen kann.

9. Leitsystem nach Anspruch 5, 6, 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Basis-Funktionssystem Start- und Hochlauf-routinen aufweist, die manuell oder automatisch eingegeben werden können sowie suboptimale Normalbetriebsroutinen, in denen einzelne, sonst rechentechnisch ermittelte, Anweisungen durch konstante Vorgaben ersetzt werden können.

10. Leitsystem für industrielle oder in industriellen Anlagen genutzte Prozesse, insbesondere nach Anspruch 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Zustand der Anlage und der einzelnen Anlagenkomponenten zur Optimierung fortlaufend anhand eines prozeßmodells simuliert wird, das insbesondere modular aufgebaut ist und welches das Verhalten zwischen den Prozeßeingangsgrößen sowie Stellgrößen und den Prozeßausgangsgrößen, z. B. Qualitätskennwerten des erzeugten Produktes, beschreibt.

11. Leitsystem nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß das Prozeßmodell zumindest teilweise, soweit es auf Basis mathematisch-physikalischer, chemischer bzw. metallurgischer oder biologischer Gesetzmäßigkeiten modelliert werden kann, mathematische Beschreibungsformen aufweist.

12. Leitsystem nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Prozeßmodell für die Anlagenkomponenten, für die Prozeßwissen vorliegt, das nur linguistisch ausgedrückt werden kann, linguistisch formulierte Modellteile aufweist, die z. B. durch Fuzzy-Systeme, Neuro-Fuzzy-Systeme, Expertensysteme oder Tabellenwerke realisiert sein können.

13. Leitsystem nach Anspruch 10, 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß das Prozeßmodell für die Anlagenkomponenten, für die keine Modellbildung auf Basis mathematisch-physikalischer, chemischer bzw. metallurgischer oder biologischer Grundlagen oder aufgrund von linguistisch beschreibbarem prozeßwissen möglich ist, selbstlernende Systeme, z. B. neuronale Netze, aufweist.

14. Leitsystem nach Anspruch 10, 11, 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Prozeßmodell aufgrund von an der Anlage gesammelten Prozeßdaten, die in einer Prozeßdatenbank archiviert werden, dem Prozeß fortlaufend angepaßt oder nachgeführt wird und daß dies mittels adaptiver Verfahren oder Lernverfahren, z. B. durch ein Backpropagation-Lernverfahren oder ein Auswahlverfahren für verschiedene Teilmodelle, etwa neuronale Netze, geschieht.

15. Leitsystem nach Anspruch 10, 11, 12, 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, daß die einstellbaren Prozeßvariablen off-line durch einen Optimierer am Prozeßmodell derart optimiert werden, daß die Modellausgangsgrößen, die insbesondere Qualitätskennwerte des Produktes sind, möglichst gut mit vorgegebenen, z. B. den anzustrebenden, Werten übereinstimmen.

16. Leitsystem nach Anspruch 10, 11, 12, 13, 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Optimierung mit einem bekannten Optimierungsverfahren, z. B. mit einem genetischen Algorithmus, dem Verfahren von Hooke-Jeeves, einem Verfahren des Simulated Annealings o. ä. erfolgt und daß die jeweils angewandten Optimierungsverfahren situations- und problemabhängig, vorgegeben oder aus einer Datei ausgewählt werden, z. B. in Abhängigkeit von der Anzahl der zu optimierenden Größen und/oder der Ausbildung der zu erwartenden Minima.

17. Leitsystem nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Abbruchkriterien der Optimierungsverfahren, z. B. mit neuronalen Netzen, nach einer Methode der Mustererkennung oder klassischen Konvergenzkriterien aufgrund des Optimierungsverlaufs ermittelt werden.

18. Leitsystem nach Anspruch 13, 14, 15, 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Startwerte für eine Optimierung auf Basis der in einem Prozeßdatenspeicher archivierten, suboptimalen Betriebsdaten ermittelt werden.

19. Leitsystem nach Anspruch 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Optimierung off-line anhand des prozeßmodells erfolgt, wobei einstellbare Prozeßvariable, die so ermittelt wurden, daß die vom Modell nachgebildeten Kennwerte des erzeugten Produktes möglichst gut mit den vorgegebenen Wunschwerten übereinstimmen, als Vorgabewerte an das Basis-Funktionssystem des Prozesses gegeben werden und von diesem der Prozeß entsprechend den Vorgabewerten eingestellt wird.

20. Leitsystem nach Ansprüchen 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorgabewerte für das Basis-Funktions-System bei einer Fehlfunktion o. ä. des Modells oder des Optimierers direkt aus den Daten der Prozeßdatenbank erzeugt werden können, wobei zur Verbesserung der Vorgabewerte, insbesondere zwischen den gespeicherten Betriebsdaten, interpoliert wird.

21. Leitsystem nach einem oder mehreren der Ansprüche 10 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß das Modell, etwa bei einem Walzgießprozeß für Metallbänder, insbesondere die Beschränkungen der Stellgrößen, das Stellglied-Zeitverhalten und ggf. die Prozeßdynamik berücksichtigt, vorzugsweise im und vor dem Bereich der Gießwalzen, z. B. in Bezug auf die Lage der Erstarrungsschalen-Vereinigungszone für die auf den Gießwalzen abgeschiedenen Erstarrungsschalen.

22. Verwendung von technischer, künstlicher Intelligenz in einem Leitsystem der verarbeitenden und/oder der Grundstoffindustrie, insbesondere der Hüttentechnik, mit einem übergeordneten, sich fortlaufend selbst verbessernden, intelligenten Teil mit einem, insbesondere modularartig aufgebauten, Prozeßmodell, in dem eingegebenes Vorwissen und selbstgeneriertes Wissen über das Verhalten der Anlage, z. B. einer Bandgießanlage oder eines Bandgießwalzwerks, vorzugsweise unter Einbeziehung eines nachfolgenden Kaltwalzens, und den Prozeß enthalten ist und einem Basis-Funktionsteil, der die Ergebnisse der künstlichen Intelligenz umsetzt und bei einer Fehlfunktion des intelligenten Teils für einen sicheren Betrieb sorgt.

23. Technische, künstliche Intelligenz nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß über einen vorzugsweise off-line arbeitenden Optimierer, insbesondere mit Hilfe eines Gesamt-Prozeß-Modells, die für die Führung einer Anlage optimalen Betriebsparameter, Modellausbildungen, Selbstlernroutinen, Einstellkombinationen der Anlagenkomponenten, z. B. von Gieß-Walzwerks-Komponenten etc. ermittelt werden, während der Produktionsprozeß auf einer bereits erreichten, suboptimalen Basis läuft.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

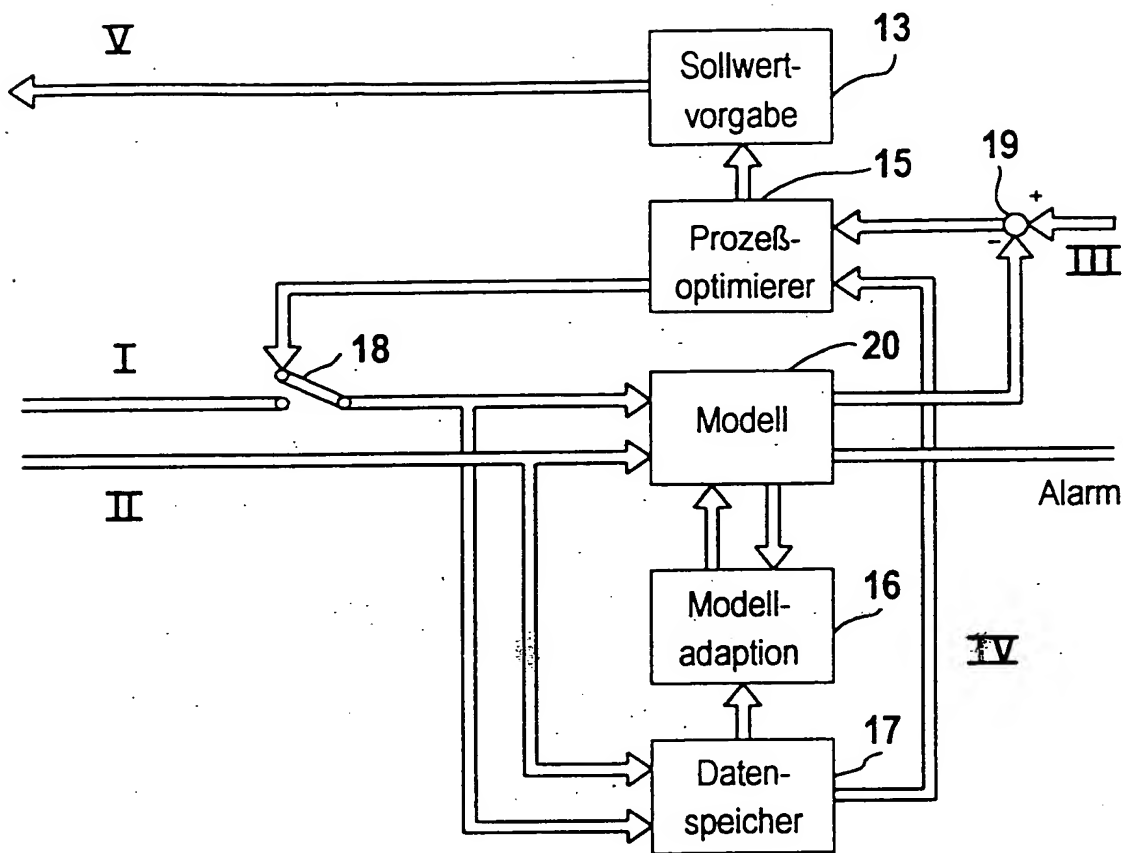


FIG 2

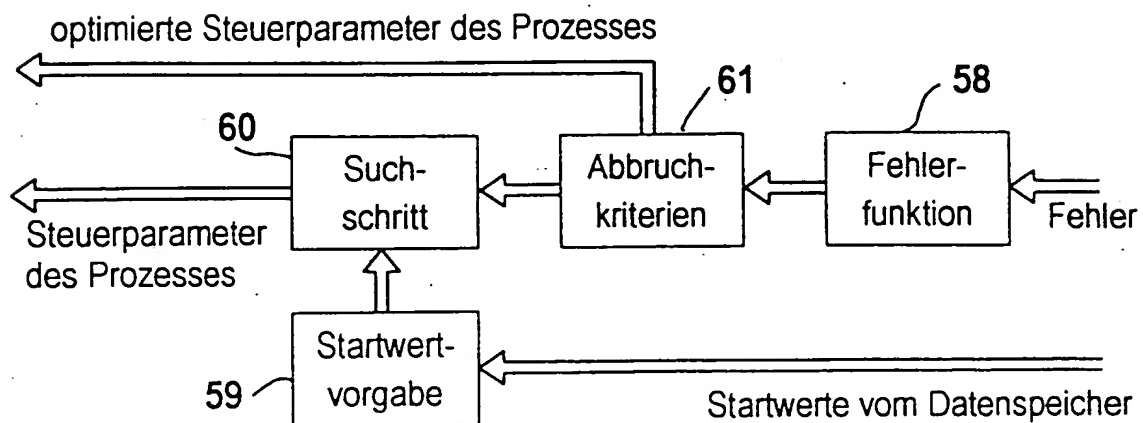


FIG 3

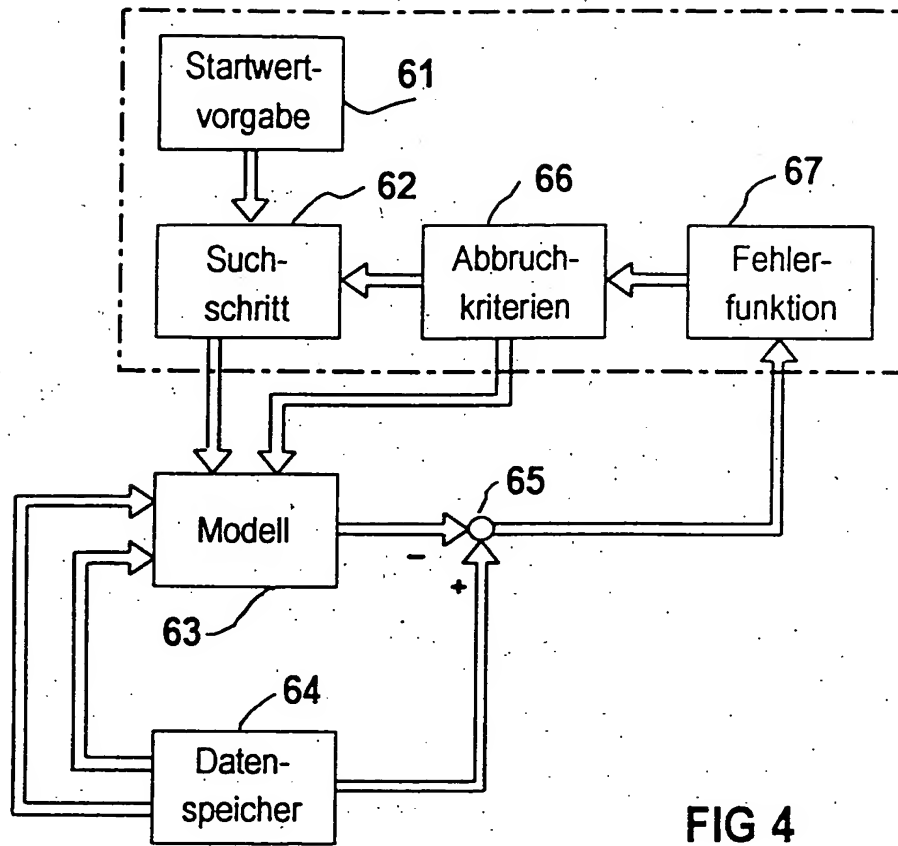


FIG 4

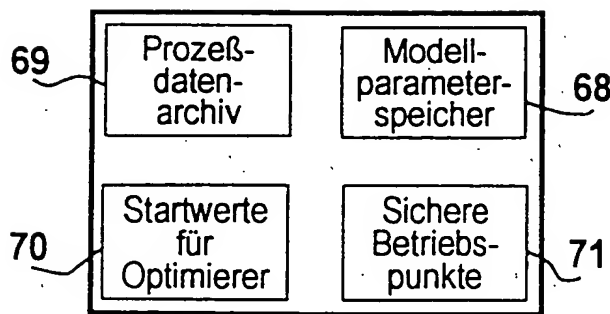


FIG 6

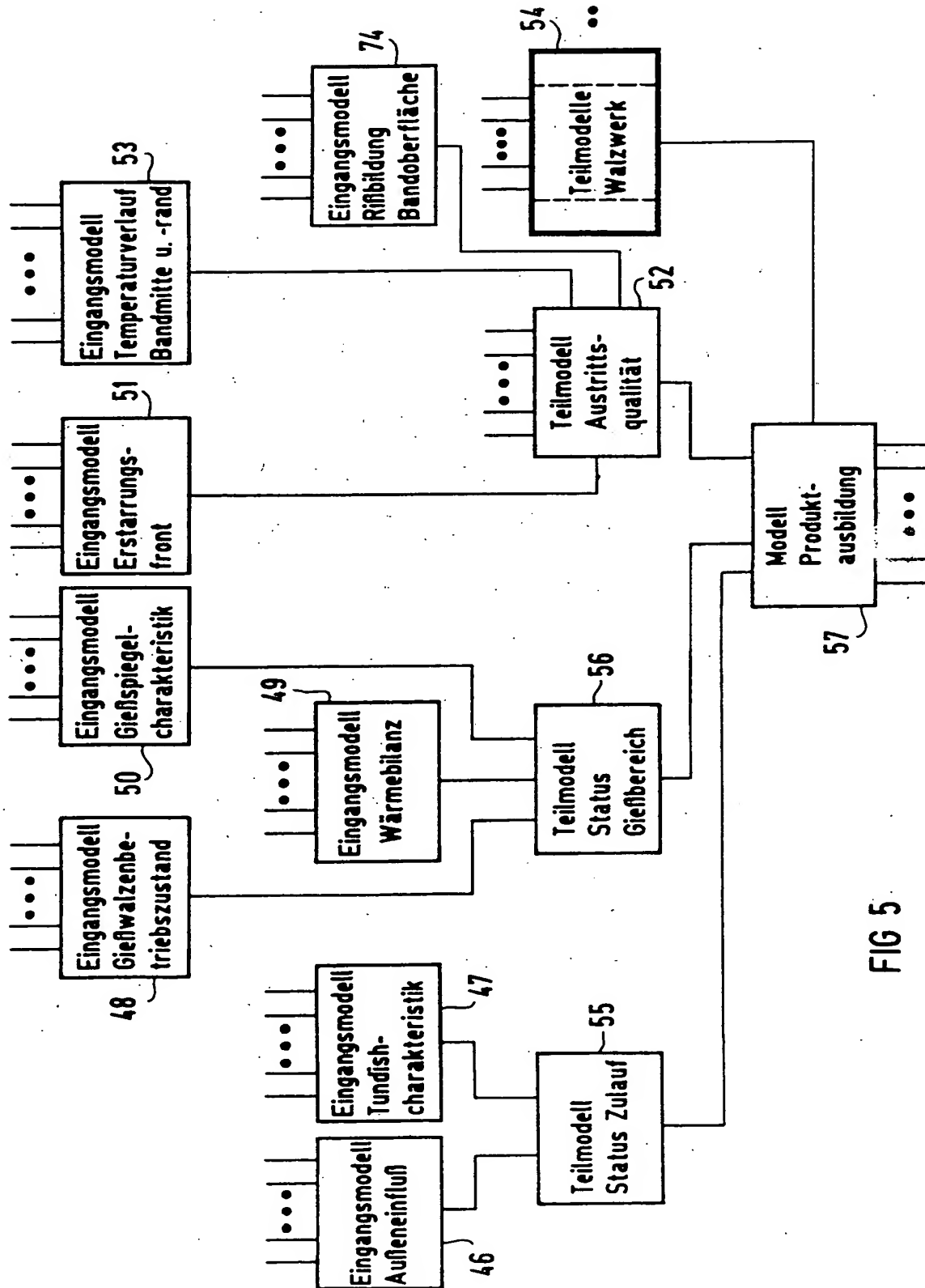


FIG 5

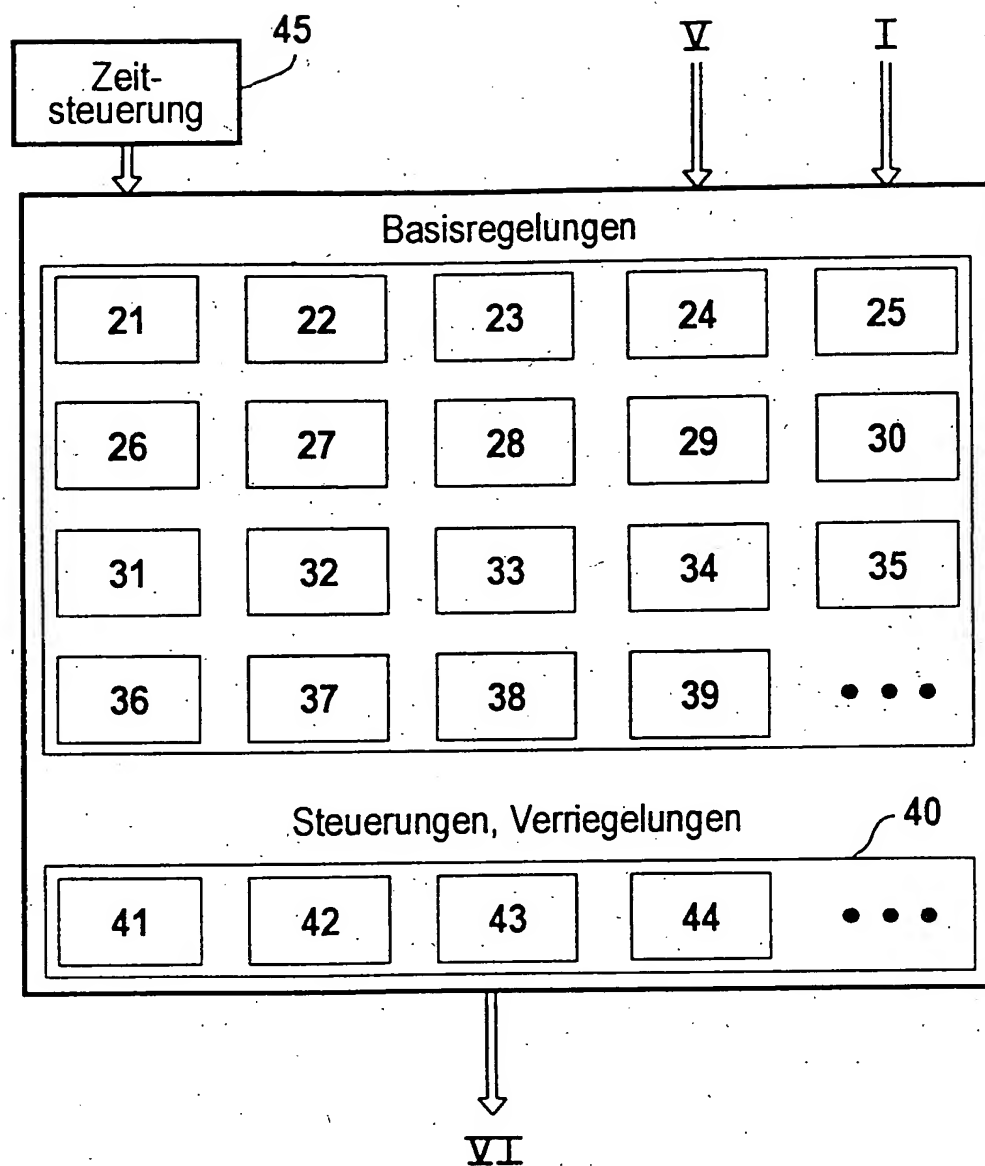


FIG 7



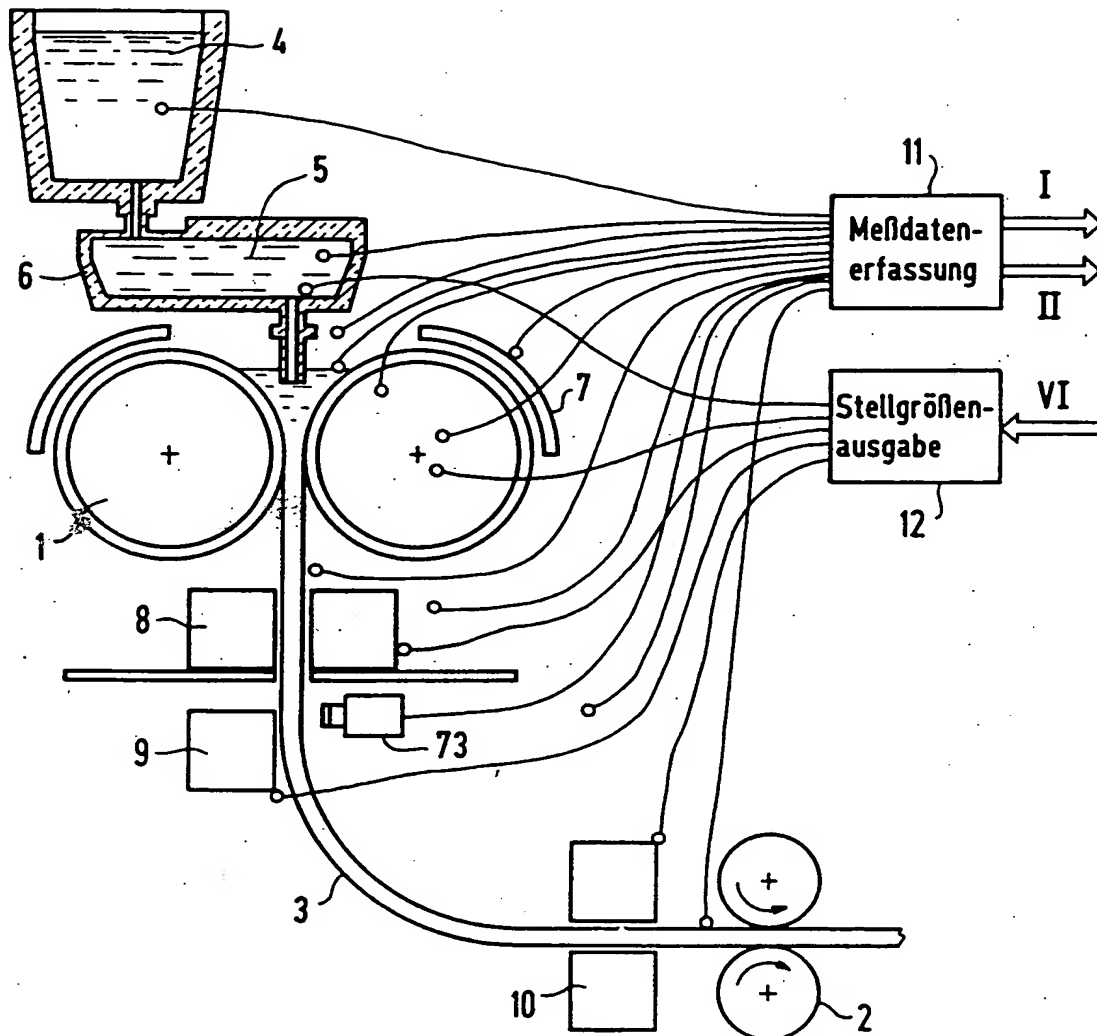


FIG 1